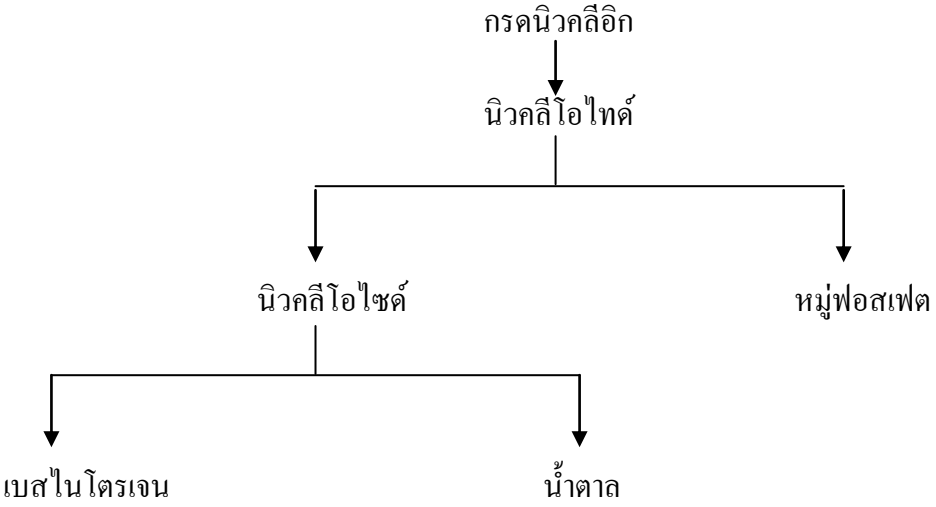
บทที่ 7
กรดนิวคลีอิก

สิ่งมีชีวิตจะมีการรักษาสายพันธุ์ของตน โดยการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากบรรพบุรุษไปสู่ลูกหลาน โดยสารในร่างกายที่ทำหน้าที่เก็บรักษาข้อมูลพันธุกรรมแล้วไปยังรุ่นสู่รุ่น คือ กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) กรดนิวคลีอิกถูกพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1869 โดยฟรีดริช ไมเอสเชอร์ (Friedrich Miescher) พบสารเคมีชนิดหนึ่งในนิวเคลียสของเซลล์ โดยสารนี้ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และฟอสฟอรัส คล้ายกับโปรตีน แต่สารนี้แตกต่างจากโปรตีนตรงที่มีฟอสฟอรัสมาก เขาจึงตั้งชื่อสารดังกล่าวตามแหล่งที่พบ คือ นิวคลีอิน (nuclein) มาจากการพบในนิวเคลียส ต่อมาพบว่าสารนี้เป็นกรดจึงเรียกว่า กรดนิวคลีอิก แต่ไม่ได้รับความสนใจเป็นเวลาหลายสิบปี จนกระทั่งมีผู้ค้นพบสูตรโครงสร้าง และหน้าที่ทางชีวภาพ นั่นคือสารนี้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต และถ่ายทอดไปยังลูกหลาน ซึ่งก็คือสิ่งที่เมนเดล (Mendel) เรียกว่า ยีน (gene) นั่นเอง กรดนิวคลีอิกในร่างกายได้แก่ ดีเอนเอ (DNA) และอาร์เอนเอ (RNA)

7.1 องค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก

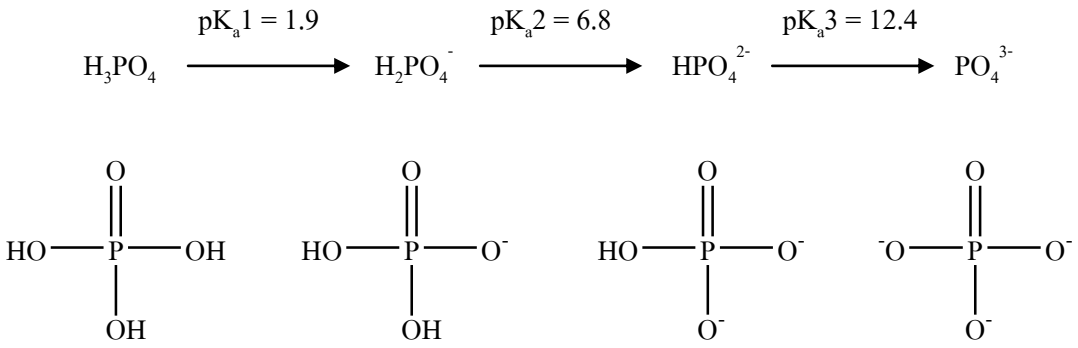
กรดนิวคลีอิกเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือ นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) หลายๆ หน่วยมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (phosphodiester bond) ส่วนนิวคลีโอไทด์เป็นสารที่ประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า นิวคลีโอไซด์ (nucleoside) กับหมู่ฟอสเฟต โดยนิวคลีโอไซด์เป็นสารที่ประกอบด้วยเบสกับน้ำตาล ดังแผนภาพต่อไปนี้



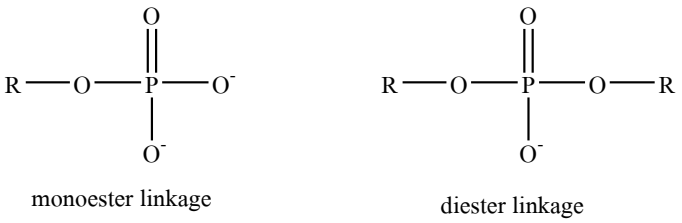
จากแผนภาพจะเห็นว่าหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของกรดนิวคลีอิกประกอบด้วย 3 ส่วน คือ หมู่ฟอสเฟต เบสไนโตรเจน และน้ำตาล

7.1.1 หมู่ฟอสเฟต

แหล่งของหมู่ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) คือ กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid, H_3PO_4) ซึ่งจะมีการแตกตัวได้ที่ pH ต่างกันดังนี้



ค่า pH ในร่างกายปกติคือ 7.4 ดังนั้นกรดฟอสฟอริกส่วนใหญ่จึงอยู่ในรูป HPO_4^{2-} โดยฟอสเฟตที่พบในกรดนิวคลีอิก จะอยู่ในรูปที่เป็นส่วนของพันธะโมโนเอสเทอร์ (monoester) และพันธะไดเอสเทอร์ (diester) ดังรูปที่ 7.1

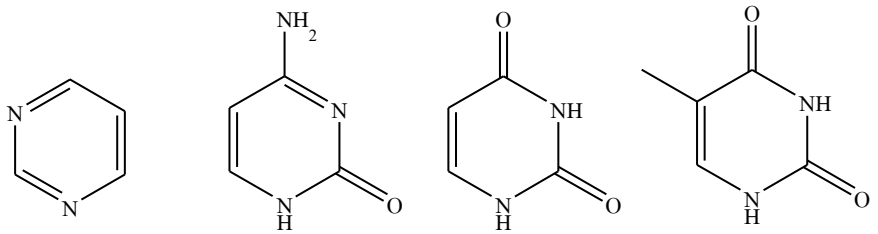


รูปที่ 7.1 หมู่ฟอสเฟตในส่วนโมโนเอสเทอร์และไดเอสเทอร์

7.1.2 เบสไนโตรเจน

เบสไนโตรเจนคือ สารที่มีไนโตรเจนอะตอมในโมเลกุล และมีฤทธิ์เป็นเบส เบสไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุพันธ์ของไพริมิดีน (pyrimidine) และกลุ่มอนุพันธ์ของเพียวรีน (purine)

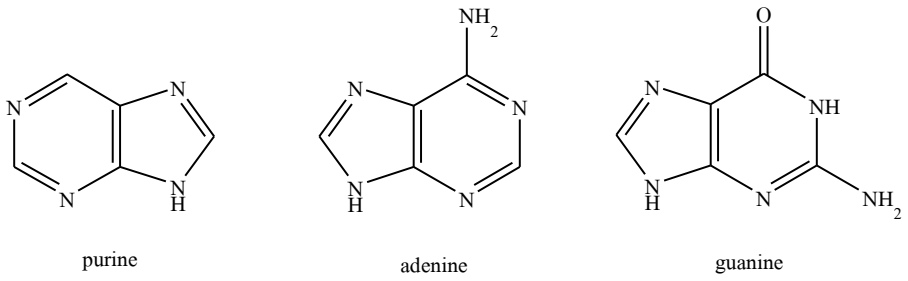
7.1.2.1 เบสกลุ่มอนุพันธ์ของไพริมิดีน โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวน 1 วง มีไนโตรเจน 2 อะตอมในวง อนุพันธ์ของไพริมิดีนที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกมี 3 ชนิด คือ ไซโทซีน (cytosine, C) ยูเรซิล (urasil, U) และไทมีน (thymine, T) ดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 เบสกลุ่มอนุพันธ์ของไพริมิดีนที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก

ไซโทซีนจะพบได้ทั้งใน DNA และ RNA ส่วนยูเรซิลจะพบได้เฉพาะใน RNA ในขณะที่ไทมีนจะพบเฉพาะใน DNA

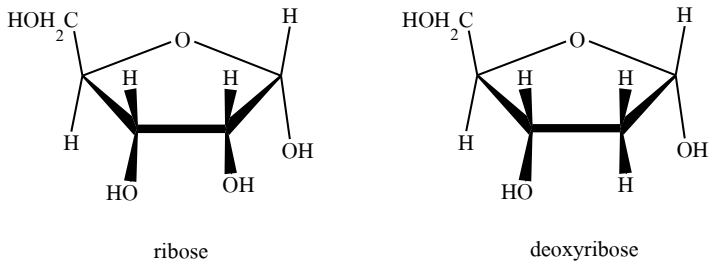
7.1.2.2 เบสกลุ่มอนุพันธ์ของเพียวรีน โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวน 2 วง โดยเป็นวงหกเหลี่ยม 1 วง และวงห้าเหลี่ยม 1 วง มีไนโตรเจน 4 อะตอมอยู่ในวง เบสกลุ่มอนุพันธ์ของเพียวรีนที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกมี 2 ชนิด คือ อะดีนีน (adenine, A) และกวานีน (guanine, G) ดังรูปที่ 7.3 ซึ่งพบได้ทั้งใน DNA และ RNA



รูปที่ 7.3 เบสกลุ่มอนุพันธ์ของเพียวรีนที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก

7.1.3 น้ำตาล

น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก เป็นน้ำตาลแอลโดเพนโทส (aldopentose) มี 2 ชนิด คือ น้ำตาลไรโบส (β-D-ribose) และน้ำตาลดีออกซีไรโบส (β-D-2-deoxyribose) ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 โครงสร้างของน้ำตาลไรโบสและน้ำตาลดีออกซีไรโบส

ในแต่ละโมเลกุลของกรดนิวคลีอิกประกอบด้วยน้ำตาลเพียง 1 ชนิด จึงสามารถแบ่งกรดนิวคลีอิกออกได้เป็น 2 ชนิด ตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ

7.2 ประเภทของกรดนิวคลีอิก

กรดนิวคลีอิกแบ่งเป็น 2 ประเภทตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ คือ

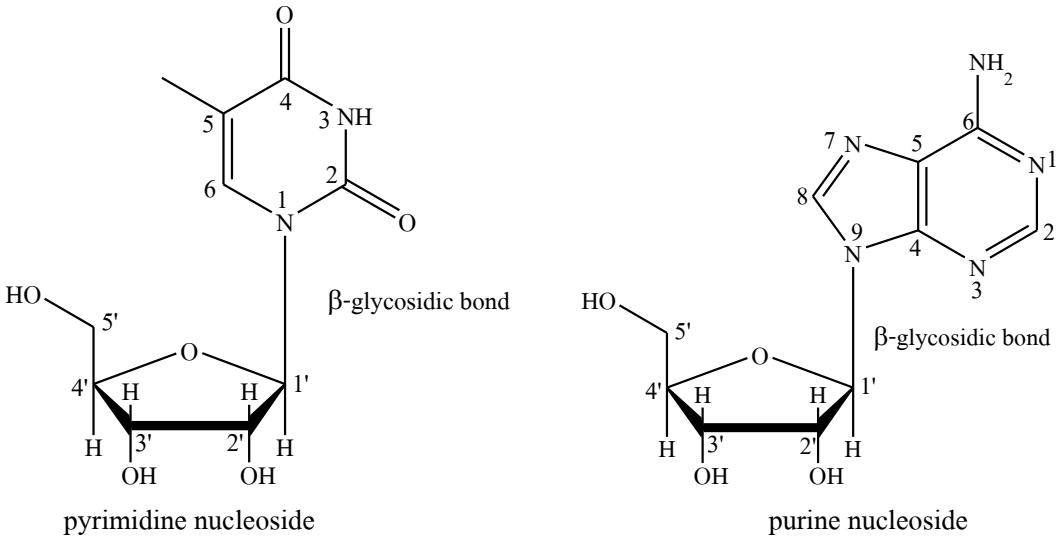
1. กรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid, **RNA**) ประกอบด้วยน้ำตาลไรโบส

2. กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid, **DNA**) ประกอบด้วยน้ำตาลดีออกซีไรโบส

กรดไรโบนิวคลีอิก และกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก นอกจากจะแตกต่างกันที่ชนิดของน้ำตาลแล้ว ยังแตกต่างกันที่เบสที่เป็นองค์ประกอบ โดยกรดไรโบนิวคลีอิกมีเบสที่เป็นองค์ประกอบ 4 ชนิด คือ คือ อะดีนีน กวานีน ไซโทซีน และยูเรซิล ส่วนกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิกมีเบสที่เป็นองค์ประกอบ 4 ชนิด คือ อะดีนีน กวานีน ไซโทซีน และไทมีน

7.3 นิวคลีโอไซด์

นิวคลีโอไซด์เป็นสารที่ประกอบด้วยเบสไนโตรเจนและน้ำตาล โดยไนโตรเจนอะตอมของเบสจะเชื่อมกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของน้ำตาล ด้วยพันธะเบตาไกลโคซิดิก (β-glycosidic bond) ในการเกิดพันธะเบตาไกลโคซิดิกนั้นถ้าเป็นเบสไพริมิดีน พันธะเบตาไกลโคซิดิกจะเกิดระหว่างไนโตรเจนตำแหน่งที่ 1 ของเบสไพริมิดีนกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของน้ำตาล แต่ถ้าเป็นเบสเพียวรีนพันธะเบตาไกลโคซิดิกจะเกิดระหว่างไนโตรเจนตำแหน่งที่ 9 ของเบสเพียวรีนกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของน้ำตาล ดังรูปที่7.5

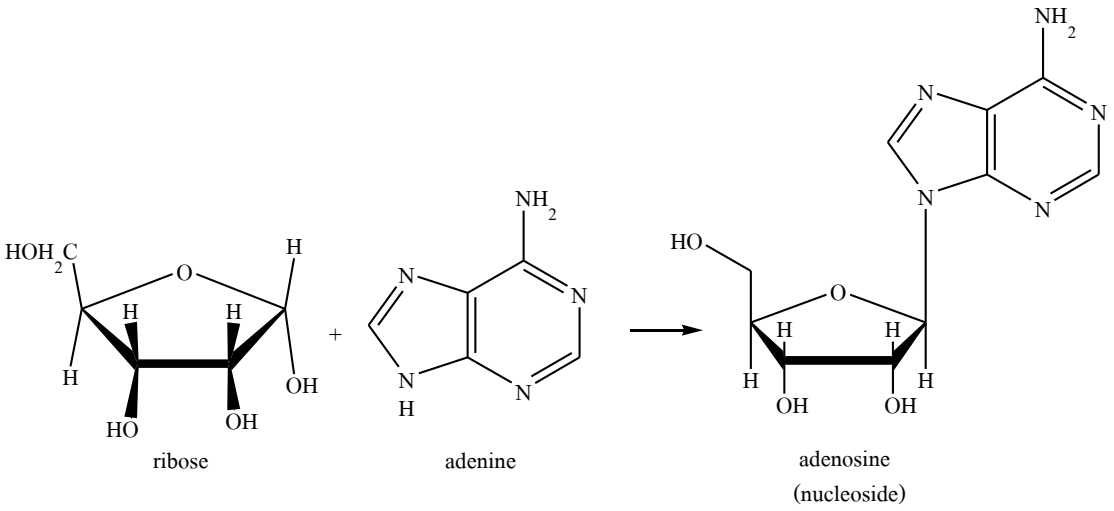


รูปที่7.5 โครงสร้างของเพียวรีนนิวคลีโอไซด์และไพริมิดีนนิวคลีโอไซด์

นิวคลีโอไซด์แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบคือ ไรโบนิวคลีโอไซด์ (ribonucleoside) และดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์ (deoxyribonucleoside)

7.3.1 ไรโบนิวคลีโอไซด์

ไรโบนิวคลีโอไซด์คือ นิวคลีโอไซด์ที่มีน้ำตาลไรโบสเป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างการเกิดไรโบนิวคลีโอไซด์แสดงดังรูปที่ 7.6



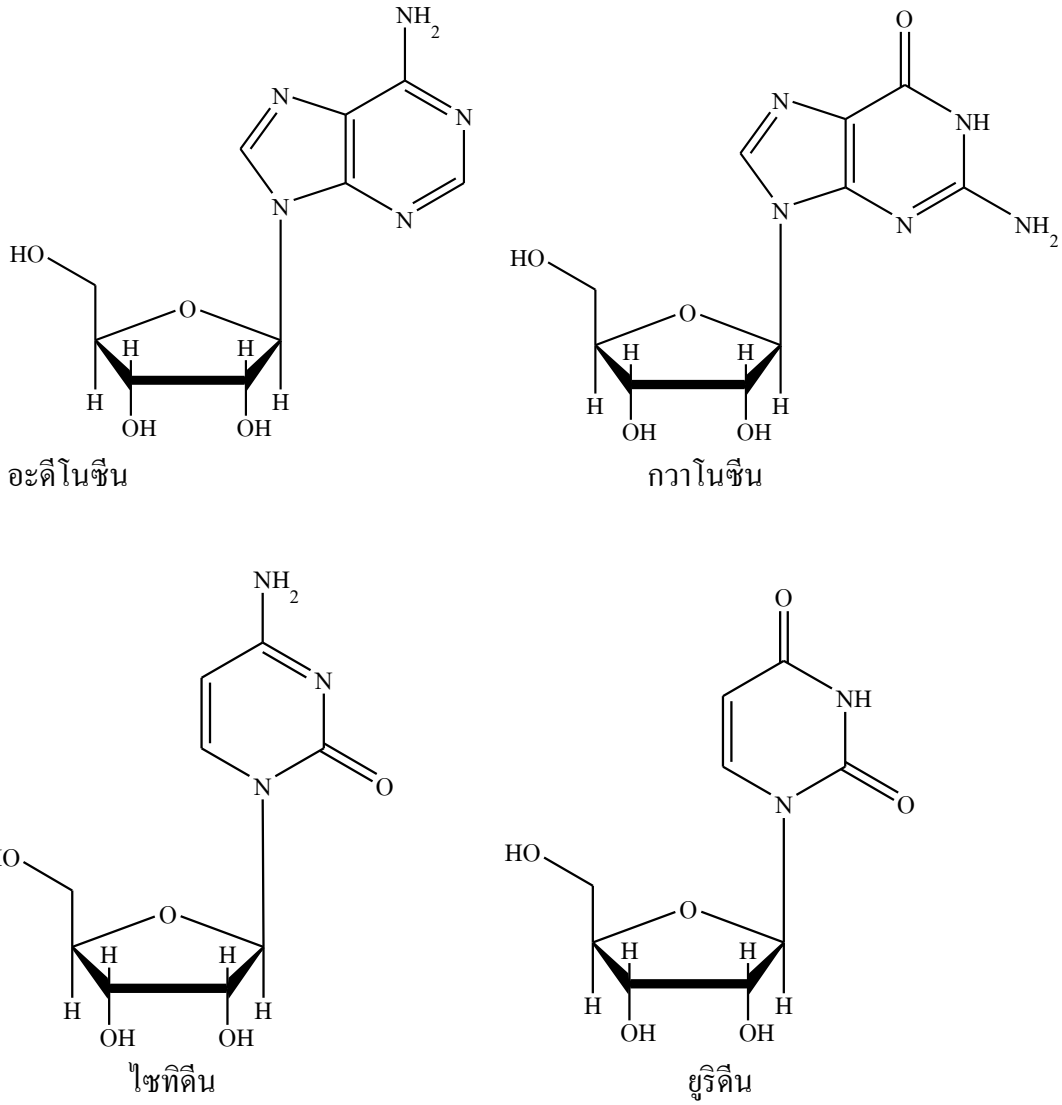
รูปที่ 7.6 การเกิดไรโบนิวคลีโอไซด์

การเรียกชื่อไรโบนิวคลีโอไซด์จะเรียกชื่อโดยการแปลงจากชื่อเบสที่เป็นองค์ประกอบ ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 การเรียกชื่อไรโบนิวคลีโอไซด์

เบส	การเรียกชื่อ
อะดีนีน (adenine)	อะดีโนซีน (adenosine)
กวานีน (guanine)	กวาโนซีน (guanosine)
ไซโทซีน (cytosine)	ไซทิดีน (cytidine)
ยูเรซิล (uracil)	ยูริดีน (uridine)

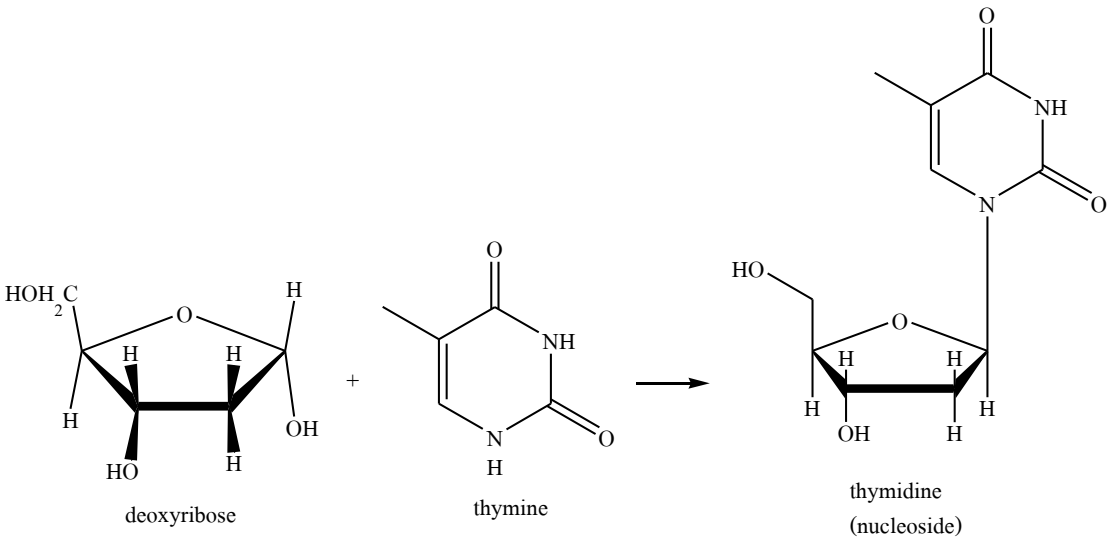
จะเห็นได้ว่าไรโบนิวคลีโอไซด์จะไม่มีเบสไทมีน เนื่องจากเบสไทมีนจะพบได้ใน DNA เท่านั้น ดังนั้นเบสไทมีนจะเกาะกับน้ำตาลดีออกซีไรโบสเท่านั้น โครงสร้างของไรโบนิวคลีโอไซด์ แสดงดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 โครงสร้างของไรโบนิวคลีโอไซด์

7.3.2 ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์

ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์คือ นิวคลีโอไซด์ที่มีน้ำตาลดีออกซีไรโบสเป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างการเกิดดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์แสดงดังรูปที่ 7.8



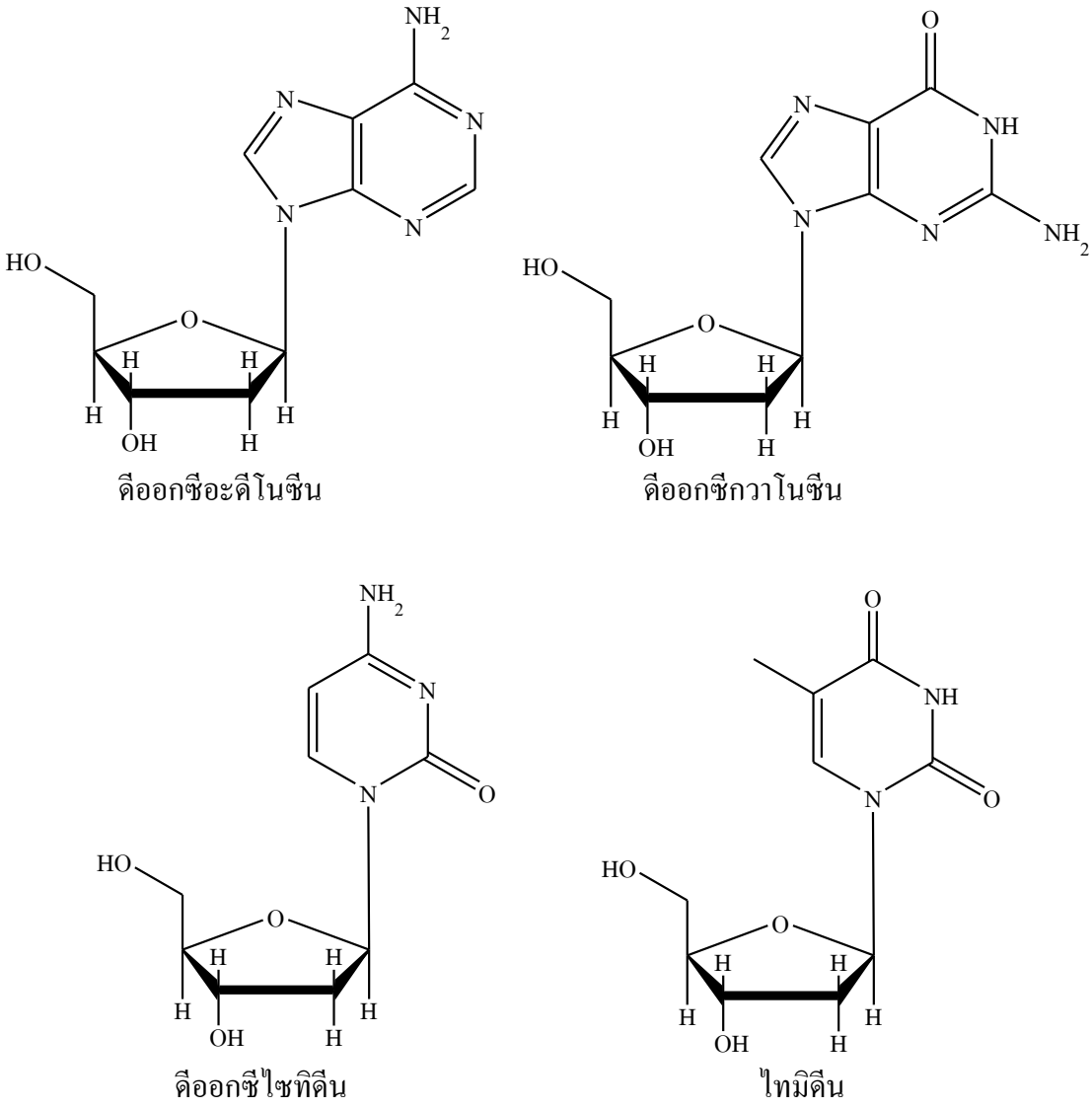
รูปที่ 7.8 การเกิดดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์

การเรียกชื่อดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์จะเรียกชื่อโดยการแปลงจากชื่อเบสที่เป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับไรโบนิวคลีโอไซด์ แต่จะมีคำว่า ดีออกซี (deoxy) นำหน้า ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 การเรียกชื่อดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์

เบส	การเรียกชื่อ
อะดีนีน (adenine)	ดีออกซีอะดีโนซีน (deoxyadenosine)
กวานีน (guanine)	ดีออกซีกวาโนซีน (deoxyguanosine)
ไซโทซีน (cytosine)	ดีออกซีไซทิดีน (deoxycytidine)
ไทมีน (thymine)	ไทมิดีน (thymidine)

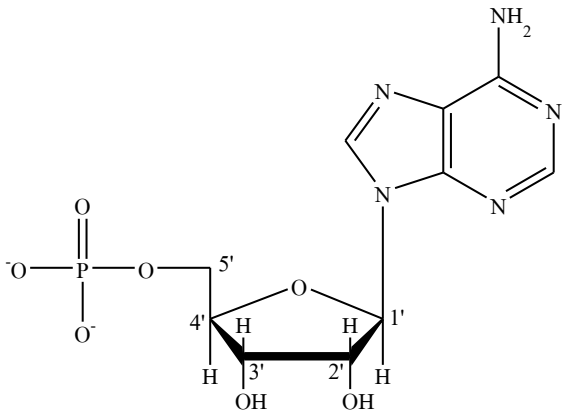
จะเห็นได้ว่าดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์จะไม่มีเบสยูเรซิล เนื่องจากเบสยูเรซิลจะพบได้เฉพาะใน RNA เท่านั้น นั่นคือเบสยูเรซิลจะเกาะกับน้ำตาลไรโบสเท่านั้น นอกจากนี้การเรียกชื่อนิวคลีโอไซด์ที่มีเบสไทมีนจะไม่มีคำว่า ดีออกซีนำหน้า เนื่องจากนิวคลีโอไซด์ที่มีเบสไทมีนจะเป็นชนิดดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์เท่านั้น จึงไม่ต้องมีคำดีออกซีนำหน้า โครงสร้างของดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์ แสดงดังรูปที่ 7.9



รูปที่ 7.9 โครงสร้างของดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์

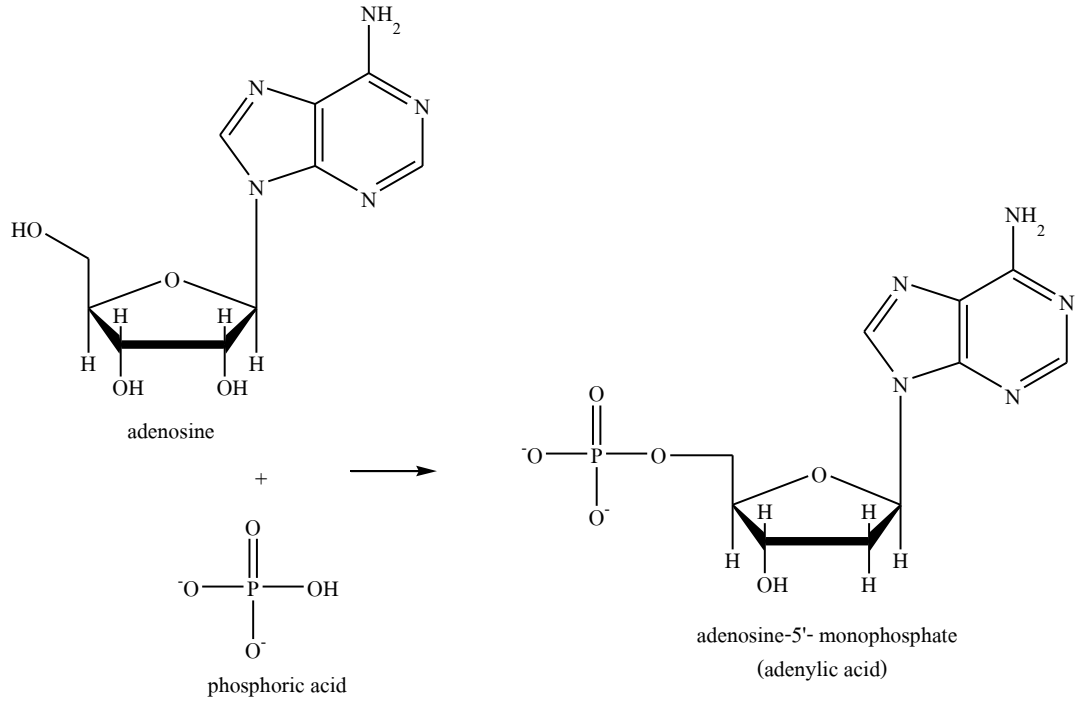
7.4 นิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไทด์เป็นสารที่ประกอบด้วยเบสไนโตรเจน น้ำตาล และหมู่ฟอสเฟต หรือกล่าวได้ว่านิวคลีโอไทด์คือ นิวคลีโอไซด์ที่มีหมู่ฟอสเฟตนั่นเอง โดยหมู่ฟอสเฟตจะมาเกาะกับนิวคลีโอไซด์ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ดังรูปที่ 7.10



รูปที่ 7.10 ตัวอย่างนิวคลีโอไทด์

ในการเกิดนิวคลีโอไทด์นั้น อาจมีหมู่ฟอสเฟตที่มาเกาะ 1 2 หรือ 3 หมู่ โดยถ้ามีหมู่ฟอสเฟตมาเกาะ 1 หมู่ เรียกว่า นิวคลีโอไซด์-5'-โมโนฟอสเฟต (nucleoside-5'-monophosphate) ถ้ามีหมู่ฟอสเฟตมาเกาะ 2 หมู่ เรียกว่า นิวคลีโอไซด์-5'-ไดฟอสเฟต (nucleoside-5'-diphosphate) และถ้ามีหมู่ฟอสเฟตมาเกาะ 3 หมู่ เรียกว่า นิวคลีโอไซด์-5'-ไตรฟอสเฟต (nucleoside-5'-triphosphate) ตัวอย่างการเกิดนิวคลีโอไทด์ แสดงดังรูปที่ 7.11



รูปที่ 7.11 ตัวอย่างการเกิดนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไทด์แบ่งได้ 2 ชนิดตามน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบคือ ไรโบนิวคลีโอไทด์ (ribonucleotide) และดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์ (deoxyribonucleotide)

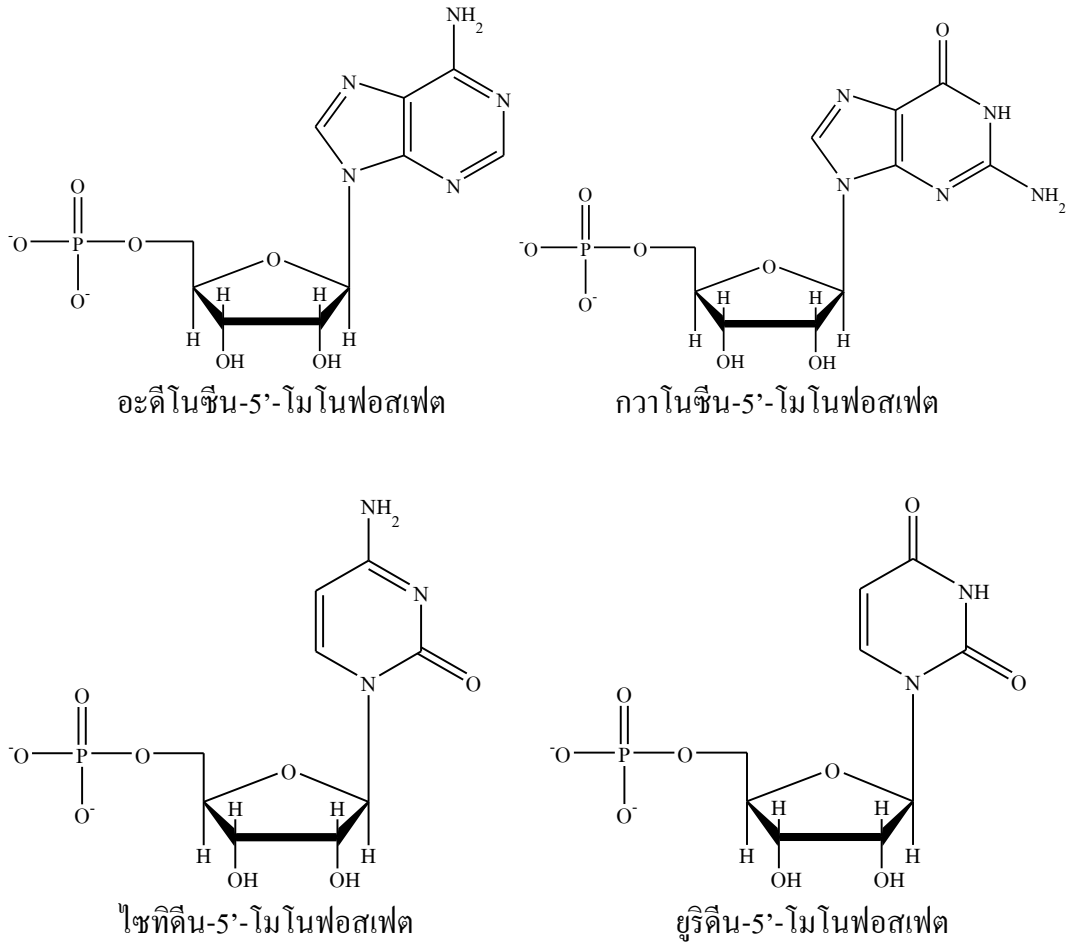
7.4.1 ไรโบนิวคลีโอไทด์

ไรโบนิวคลีโอไทด์คือ นิวคลีโอไทด์ที่มีน้ำตาลไรโบสเป็นองค์ประกอบ การเรียกชื่อไรโบนิวคลีโอไทด์ ให้เรียกส่วนที่เป็นนิวคลีโอไซด์ก่อน แล้วตามด้วย -5'-โมโนฟอสเฟต (-5'-monophosphate) ถ้ามีหมู่ฟอสเฟตมาเกาะ 1 หมู่ การเรียกชื่อไรโบนิวคลีโอไทด์ แสดงดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 การเรียกชื่อไรโบนิวคลีโอไทด์

ไรโบนิวคลีโอไซด์	การเรียกชื่อไรโบนิวคลีโอไทด์
อะดีโนซีน (adenosine)	อะดีโนซีน-5'-โมโนฟอสเฟต (adenosine-5'-monophosphate)
กวาโนซีน (guanosine)	กวาโนซีน-5'-โมโนฟอสเฟต (guanosine-5'-monophosphate)
ไซทิดีน (cytidine)	ไซทิดีน-5'-โมโนฟอสเฟต (cytidine-5'-monophosphate)
ยูริดีน (uridine)	ยูริดีน-5'-โมโนฟอสเฟต (uridine-5'-monophosphate)

ถ้ามีหมู่ฟอสเฟตมาเกาะ 2 หมู่ใช้ -5'-ไดฟอสเฟต (-5'-diphosphate) และถ้ามีหมู่ฟอสเฟตมาเกาะ 3 หมู่ ใช้ -5'-ไตรฟอสเฟต (-5'-triphosphate) โครงสร้างของไรโบนิวคลีโอไทด์ แสดงดังรูปที่ 7.12



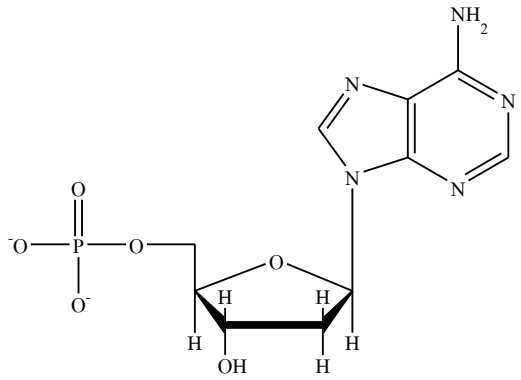
รูปที่ 7.12 โครงสร้างของไรโบนิวคลีโอไทด์

7.4.2 ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์

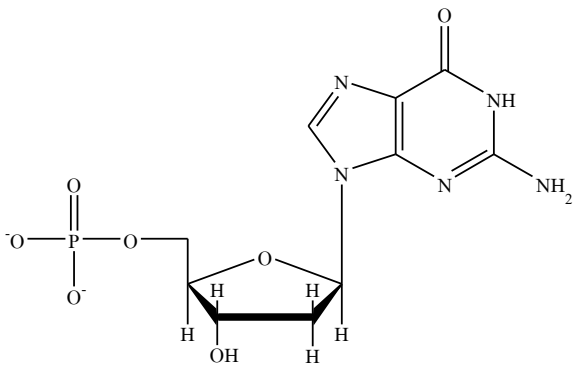
ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์คือ นิวคลีโอไทด์ที่มีน้ำตาลดีออกซีไรโบสเป็นองค์ประกอบ การเรียกชื่อดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์ ให้เรียกส่วนที่เป็นนิวคลีโอไซด์ก่อน แล้วตามด้วย -5'-โมโนฟอสเฟต (-5'-monophosphate) ถ้ามีหมู่ฟอสเฟตมาเกาะ 1 หมู่ เช่นเดียวกับไรโบนิวคลีโอไทด์ การเรียกชื่อดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์ แสดงดังตารางที่ 7.4 โครงสร้างของดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์ แสดงดังรูปที่ 7.13

ตารางที่ 7.4 การเรียกชื่อดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์

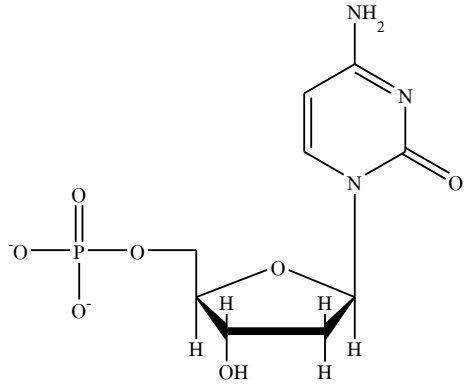
ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์	การเรียกชื่อดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์
ดีออกซีอะดีโนซีน (deoxyadenosine)	ดีออกซีอะดีโนซีน-5'-โมโนฟอสเฟต (deoxyadenosine-5'-monophosphate)
ดีออกซีกวาโนซีน (deoxyguanosine)	ดีออกซีกวาโนซีน-5'-โมโนฟอสเฟต (deoxyguanosine-5'-monophosphate)
ดีออกซีไซทิดีน (cytidine)	ดีออกซีไซทิดีน-5'-โมโนฟอสเฟต (deoxycytidine-5'-monophosphate)
ไทมิดีน (thymidine)	ไทมิดีน-5'-โมโนฟอสเฟต (thymidine-5'-monophosphate)



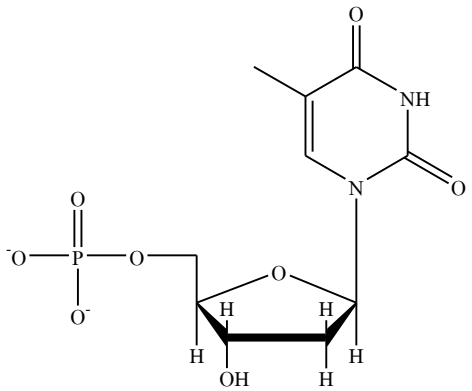
ดีออกซีอะดีโนซีน-5'-โมโนฟอสเฟต



ดีออกซีกวาโนซีน-5'-โมโนฟอสเฟต



ดีออกซีไซทิดีน-5'-โมโนฟอสเฟต



ไทมิดีน-5'-โมโนฟอสเฟต

รูปที่ 7.13 โครงสร้างของดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์

7.4.3 ความสำคัญของนิวคลีโอไทด์

1. นิวคลีโอไทด์เป็นหน่วยโครงสร้างของกรดนิวคลีอิก โดยไรโบนิวคลีโอไทด์เป็นหน่วยโครงสร้างของ RNA ส่วนดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์เป็นหน่วยโครงสร้างของ DNA

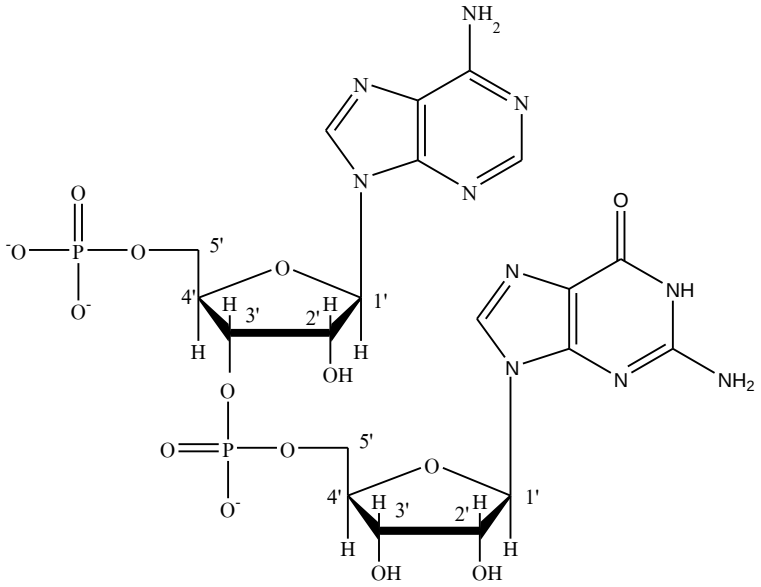
2. นิวคลีโอไทด์ทำหน้าที่เป็นสารเก็บพลังงานซึ่งได้จากการเผาผลาญอาหาร นิวคลีโอไทด์ที่ทำหน้าที่นี้เป็นพวกที่มีฟอสเฟตมากกว่า 1 หมู่ ที่มีบทบาทมากที่สุดคือ ATP (adenosinetriphosphate) โดยในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดใช้ ATP เป็นสารพลังงาน

3. นิวคลีโอไทด์เป็นตัวกลางในการออกฤทธิ์ของฮอร์โมน

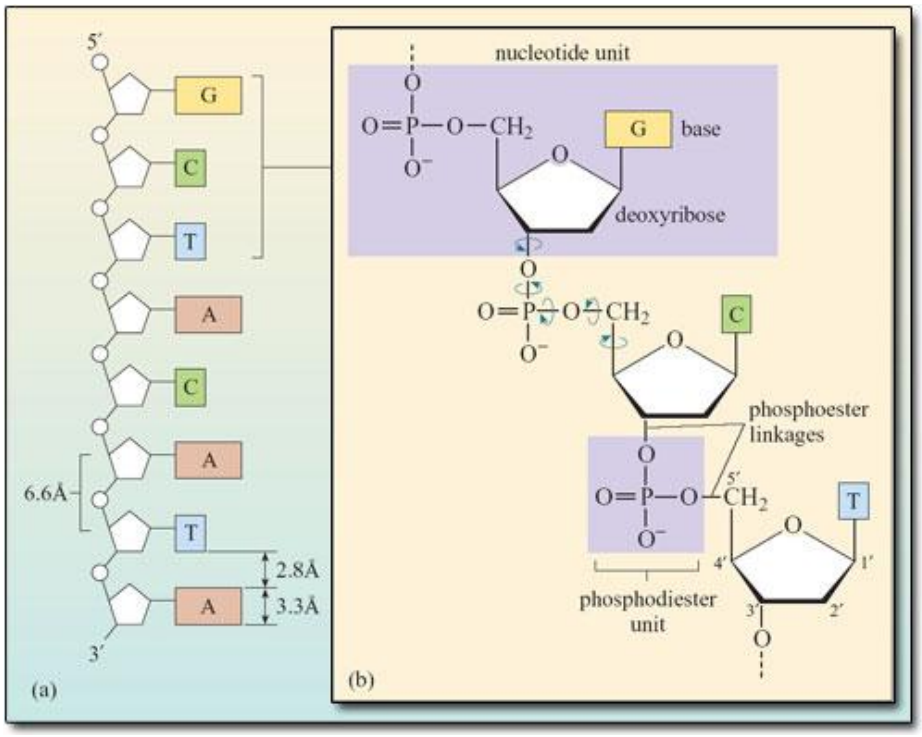
4. นิวคลีโอไทด์เป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) นิวคลีโอไทด์ที่ทำหน้าที่นี้มีทั้งชนิดที่มีและไม่มีโมเลกุลของวิตามินอยู่ในโครงสร้าง เช่น FAD, NAD^+ และ $NADP^+$ (ดาวัลย์ ฉิมภู่, 2548 : 166)

7.5 กรดนิวคลีอิก

กรดนิวคลีอิก คือ นิวคลีโอไทด์หลายๆ หน่วยที่ต่อกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ โดยเป็นการเชื่อมกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3’ ของนิวคลีโอไทด์หน่วยหนึ่งกับหมู่ฟอสเฟตที่ตำแหน่ง 5’ ของนิวคลีโอไทด์หน่วยถัดไป ดังรูปที่ 7.14 การเชื่อมกันของนิวคลีโอไทด์หลายๆ หน่วยเกิดเป็นพอลินิวคลีโอไทด์ แสดงดังรูปที่ 7.15



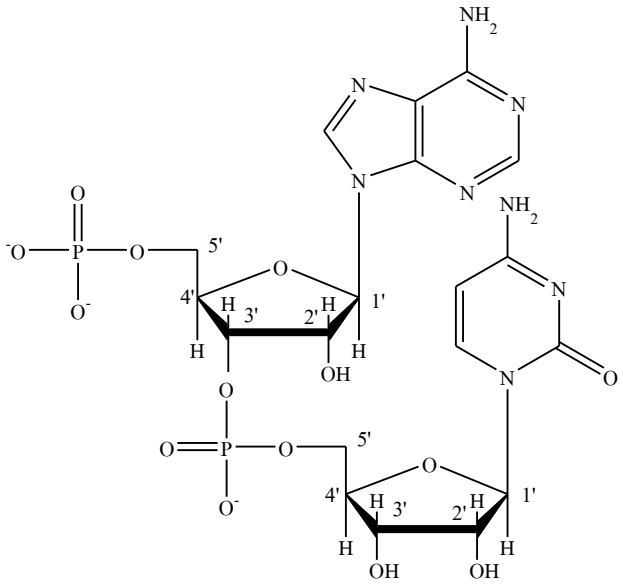
รูปที่ 7.14 การเชื่อมกันของนิวคลีโอไทด์ 2 หน่วย



รูปที่ 7.15 โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก (The Open University)
a) การเชื่อมกันของนิวคลีโอไทด์หลายๆ หน่วย b) การเกิดพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์
(ที่มา : http://openlearn.open.ac.uk/file.php/2645/S377_1_003i.jpg, 2552)

กรดนิวคลีอิกเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มาก ในการเขียนโครงสร้างของกรดนิวคลีอิกจะมีความยุ่งยากและเขียนได้ช้า ดังนั้นจึงมีการเขียนสูตรโครงสร้างแบบย่อของกรดนิวคลีอิก เพื่อความสะดวกในการเขียน การเขียนสูตรโครงสร้างแบบย่อของกรดนิวคลีอิกเขียนได้ 2 วิธี คือ แบบใช้ตัวอักษรอย่างเดียว และแบบใช้ตัวอักษรกับเส้นตรง

การเขียนโครงสร้างแบบย่อโดยใช้ตัวอักษรอย่างเดียว เป็นการเขียนย่อแบบใช้ตัวอักษร การเขียนย่อของพอลิไรโบนิวคลีโอไทด์มีวิธีการเขียนดังนี้ ใช้ตัวย่อของเบสแทนไรโบนิวคลีโอไซด์ชนิดต่างๆ คือใช้ A, G, C, U ใช้แทน อะดีโนซีน กวาโนซีน ไซทิดีน และยูริดิน ตามลำดับ ใช้อักษร p แทนหมู่ฟอสเฟต กำหนดว่า ถ้า p อยู่หน้าตัวย่อของนิวคลีโอไซด์ หมายถึงตำแหน่งของหมู่ฟอสเฟตอยู่ที่ 5’ และถ้า p อยู่หลังแสดงว่าฟอสเฟตอยู่ที่ตำแหน่ง 3’ ดังนั้นถ้าเขียนว่า pApC หมายถึง อะดีโนซีน-5’-ฟอสเฟต เชื่อมต่อกับไซทิดีนด้วยหมู่ฟอสเฟต ซึ่งอยู่ระหว่างตำแหน่ง 3’ ของอะดีโนซีน และตำแหน่งที่ 5’ ของไซทิดีน (ดาวัลย์ ฉิมภู่, 2548 : 171) ดังรูปที่ 7.16

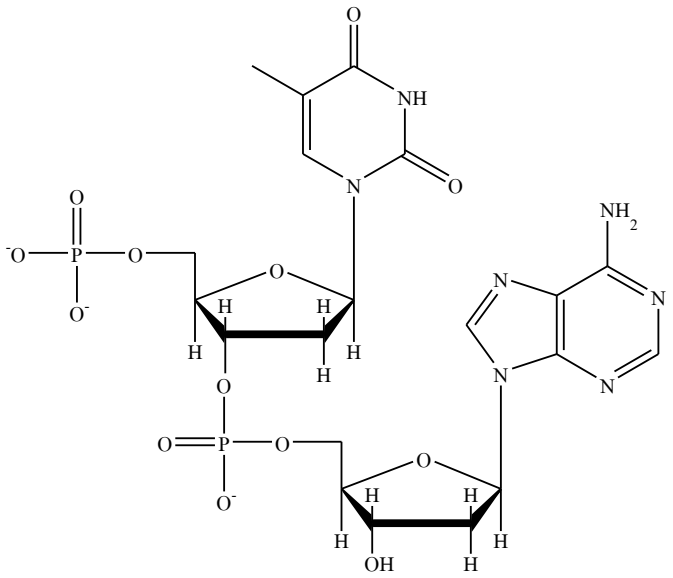


สูตรโครงสร้างแบบย่อ คือ pApC

รูปที่ 7.16 สูตรโครงสร้างของ pApC

นอกจากนี้อาจใช้ขีด (-) แทน p ที่อยู่ระหว่างนิวคลีโอไทด์ เช่น สูตรโครงสร้างแบบย่อ pApCpU อาจเขียนเป็น pA-C-U

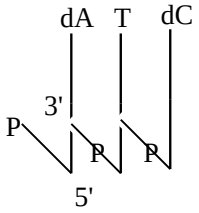
การเขียน ย่อของพอลิดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์มีวิธีเขียนดังนี้ ใช้ตัวย่อของเบสแทนดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์ชนิดต่างๆ ได้แก่ dA, dG, dC, T แทนดีออกซีอะดีโนซีน ดีออกซีกวาโนซีน ดีออกซีไซทิดีน และไทมิดีน ตามลำดับ และใช้ p นำหน้าหรือตามหลังดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์เช่นเดียวกับไรโบนิวคลีโอไซด์ เช่น pdCpdA ดังรูปที่ 7.17



สูตรโครงสร้างแบบย่อ คือ pdCpdA

รูปที่ 7.17 สูตรโครงสร้างของ pdCpdA

การเขียนโครงสร้างแบบย่อโดยใช้ตัวอักษรกับเส้นตรง เป็นการเขียนโดยใช้เส้นตรงแทนน้ำตาล โดยถ้าเป็นน้ำตาลชนิดดีออกซีไรโบส จะใช้อักษร d กำกับด้านบนของเส้นตรง ส่วนเบสจะใช้อักษรย่อของเบสแต่ละชนิดนั่นคือ อะดีนีนใช้ A กวานีนใช้ G ไซโทซีนใช้ C ยูเรซิลใช้ U และไทมีนใช้ T ส่วนหมู่ฟอสเฟตใช้อักษร p ตัวอย่างการเขียนย่อโดยใช้ตัวอักษรกับเส้นตรง แสดงดังรูปที่ 7.18



รูปที่ 7.18 การเขียนโครงสร้างแบบย่อโดยใช้ตัวอักษรกับเส้นตรงของ pdApTpdC

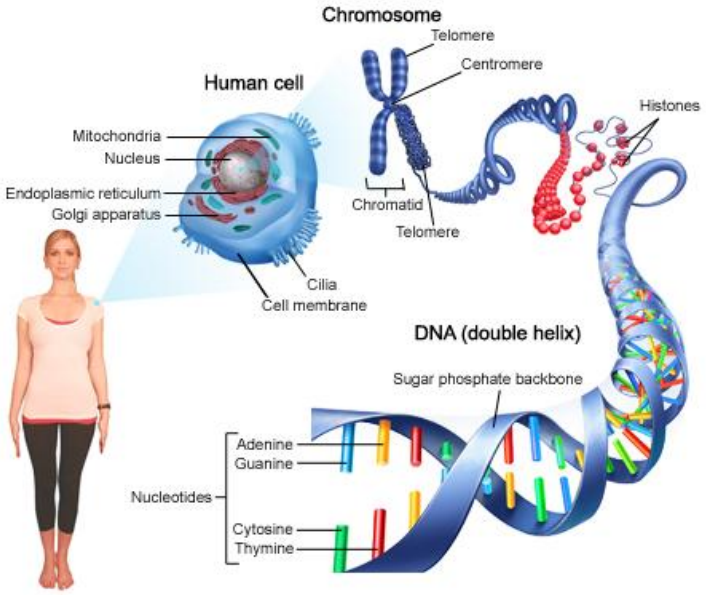
7.6 กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก

กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid) หรือ DNA เป็นกรดนิวคลีอิกที่ประกอบด้วยดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์หลายๆ หน่วยมาต่อกันเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ DNA มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิด

7.6.1 หน้าที่และแหล่งที่พบ

DNA เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีความสำคัญที่สุดต่อการคงอยู่ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ กล่าวคือ DNA ทำหน้าที่เป็นสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิด ยกเว้นไวรัสบางชนิดเท่านั้นที่ใช้ RNA เป็นสารพันธุกรรม สารพันธุกรรมนี้จะเป็นที่เก็บและถ่ายทอด (transmission) ข้อมูลทางพันธุกรรม หรือลักษณะทางพันธุกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตจากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลาน จากเซลล์รุ่นหนึ่งไปสู่เซลล์อีกรุ่นหนึ่ง เป็นตัวควบคุมการแสดงออกของลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต (พัชรี บุญศิริ และคณะ, 2550 : 177)

DNA ที่พบในธรรมชาติมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของสิ่งมีชีวิต แหล่งที่พบ DNA จะพบในนิวเคลียสของเซลล์ นอกจากนี้ยังพบที่ส่วนอื่นของเซลล์ด้วย เช่น ในเซลล์ของมนุษย์พบ DNA ในนิวเคลียส โดยจะอยู่บนโครโมโซม ดังรูปที่ 7.19



รูปที่ 7.19 แหล่งที่พบ DNA ในมนุษย์

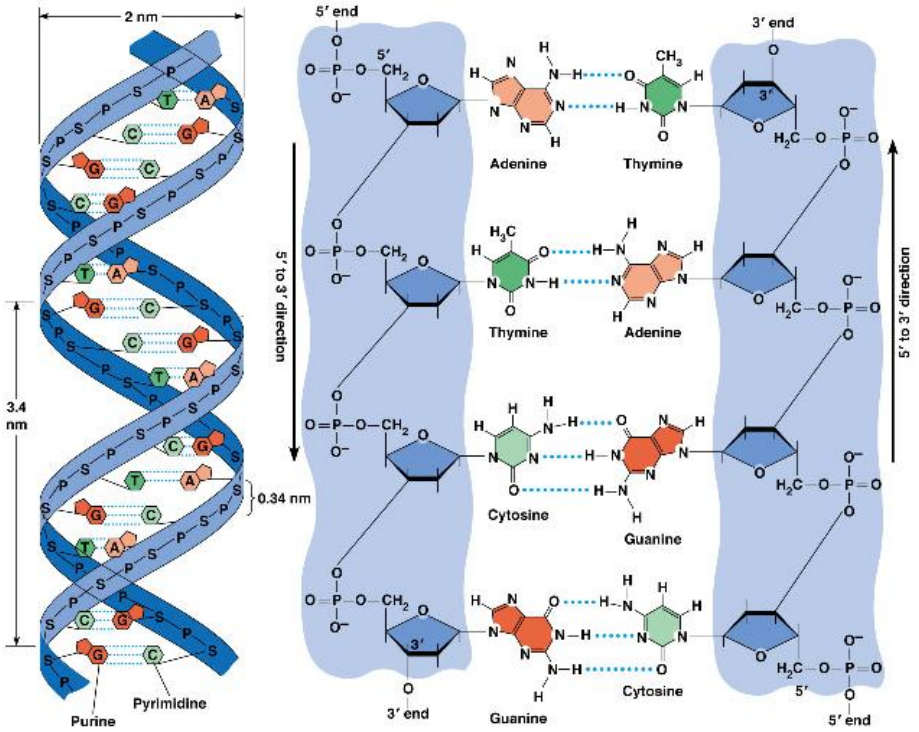
(ที่มา : http://whyfiles.org/034clone/images/dna_molecule.gif, 11 มกราคม 2552)

นอกจากนี้ยังพบในไมโทคอนเดรียอีกด้วย สำหรับพืชจะพบ DNA ในนิวเคลียส และยังพบได้ในคลอโรพลาสต์

7.6.2 โครงสร้างของ DNA

โครงสร้างของ DNA ประกอบด้วยสายพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายพันกันเป็นเกลียว การค้นพบโครงสร้างเกลียวคู่ (double helix) ของ DNA ในปี ค.ศ. 1953 โดยเจมส์ วัตสัน (James

Watson) และฟรานซิส คริก (Francis Crick) ได้เสนอแบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลของ DNA (DNA structure) ในหัวข้อ “โครงสร้างระดับโมเลกุลของกรดนิวคลีอิก (Molecular Structure of Nucleic Acids)” ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ Nature ฉบับวันที่ 25 เมษายน ค.ศ. 1953 “DNA เป็นพอลิเมอร์ของนิวคลีโอไทด์ 2 สาย ที่พันบิดกันเป็นเกลียวคู่ (double helix) วนไปทางขวา (right hand) โดยที่สายพอลินิวคลีโอไทด์ทั้ง 2 สายเรียงสลับสวนทิศทางกัน (antiparallel) คล้ายบันไดเวียน โดยมีน้ำตาลและหมู่ฟอสเฟตเป็นราวบันได และบันไดแต่ละขั้นคือ เบส 1 คู่ ที่จับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะดีนีนกับไทมีน (A-T) และกวานีนกับไซโทซีน (G-C) การสังเคราะห์ DNA จะทำให้ได้สารพันธุกรรมที่มีลักษณะเหมือนเดิมทุกประการจำนวนมากขึ้นเป็น 2 เท่า การเกิดสายพอลินิวคลีโอไทด์จะมีการสร้างสายใหม่ขึ้นมาหนึ่งสาย และมีสายเก่าอยู่หนึ่งสายทำหน้าที่เป็นแม่พิมพ์ในขณะที่มีการสังเคราะห์สายใหม่ขึ้นมา” (ศุภศิษฏ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์, 2552 : 128) จากผลงานดังกล่าวทำให้วัตสันและคริกได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 1962 โครงสร้างของ DNA แสดงดังรูปที่ 7.20



รูปที่ 7.20 โครงสร้างของ DNA

(ที่มา : http://www.mun.ca/biology/desmid/brian/BIOL2060/BIOL2060-18/18_04.jpg, 1พฤษภาคม 2556)

ลักษณะเกลียวคู่เกิดจาก DNA 2 สายพันกันเป็นเกลียวคู่วนขวาคล้ายบันไดเวียน เบสที่เป็นองค์ประกอบของสายพอลินิวคลีโอไทด์ทั้ง 2 สายจะวางตัวอยู่ในระนาบเดียวกัน และต้องเข้าคู่กันดังนี้ อะดีนีนกับไทมีน (A-T) และกวานีนกับไซโทซีน (G-C) เสมอ เบสแต่ละคู่จับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน DNA ทั้ง 2 สายจะจับกันในลักษณะกลับทิศทางกันคือ นิวคลีโอไทด์สายหนึ่งจะมีทิศทางจาก 5' ⟶ 3' อีกสายหนึ่งจะมีทิศทางจาก 3' ⟶ 5' ดังตัวอย่าง

สายพอลินิวคลีโอไทด์สายที่ 1 5' - - - - - GCA TTG CAA TTA TGC CAA - - - - - 3'
สายพอลินิวคลีโอไทด์สายที่ 2 3' - - - - - CGT AAC GTT AAT ACG GTT - - - - - 5'

7.7 กรดไรโบนิวคลีอิก

กรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid) หรือ RNA เป็นกรดนิวคลีอิกที่ประกอบด้วยไรโบนิวคลีโอไทด์หลายๆ หน่วยมาต่อกัน

7.7.1 หน้าที่และแหล่งที่พบ

ในเซลล์ยูคาริโอตจะพบ RNA ได้ในนิวเคลียส ไซโทพลาสซึม และไมโทคอน- เดรีย สำหรับในนิวเคลียสจะพบ RNA บริเวณนิวคลีโอลัส ในธรรมชาติ RNA แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ mRNA tRNA และ rRNA

7.7.1.1 mRNA หรือ messenger RNA ทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรมจาก DNA เพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน โดย mRNA จะถูกสังเคราะห์ขึ้นที่นิวเคลียสโดยมี DNA เป็นแม่แบบ จากนั้น mRNA จะไปที่ไซโทพลาสซึมเพื่อเป็นแม่แบบในการสังเคราะห์โปรตีนต่อไป ข้อมูลพันธุกรรมที่ mRNA นำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนก็คือลำดับเบสนั่นเอง mRNA มีจำนวนนิวคลีโอไทด์ประมาณ 75 – 3,000

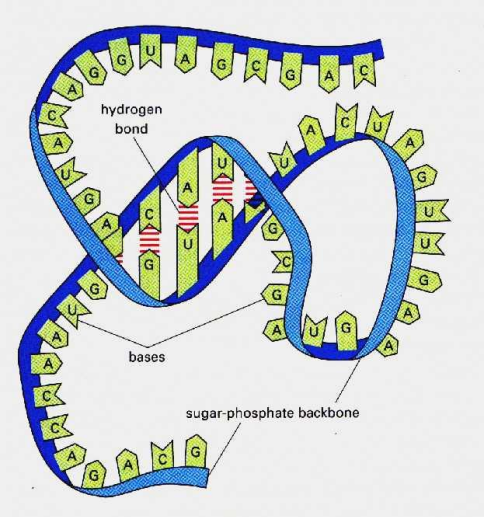
7.7.1.2 tRNA หรือ transfer RNA ทำหน้าที่นำกรดอะมิโนไปยังไรโบโซมเพื่อเรียงต่อกันเป็นโปรตีน tRNA แต่ละชนิดจะมีความจำเพาะต่อชนิดของกรดอะมิโนนั่นคือ tRNA สามารถนำกรดอะมิโนไปได้เพียงชนิดเดียวเท่านั้น tRNA มีจำนวนนิวคลีโอไทด์ประมาณ 75 – 90

7.7.1.3 rRNA หรือ ribosomal RNA เป็นส่วนประกอบของไรโบโซม โดยจะรวมกับโปรตีนสร้างเป็นไรโบโซม rRNA มีจำนวนนิวคลีโอไทด์ประมาณ 100 – 3,100

7.7.2 โครงสร้างของ RNA

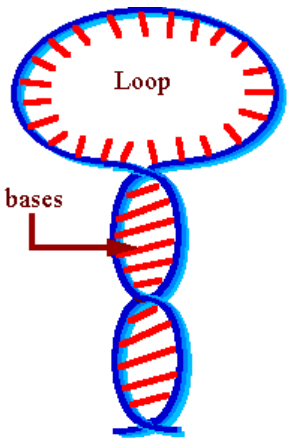
โครงสร้างของ RNA ประกอบด้วยสายพอลินิวคลีโอไทด์ 1 สาย ซึ่งจะแตกต่างจาก DNA ที่เป็นเกลียวคู่ 2 สาย นอกจากนี้ RNA ยังแตกต่างจาก DNA ที่น้ำตาลและเบสที่เป็น

องค์ประกอบ โดยใน RNA จะเป็นน้ำตาลไรโบส ส่วนเบสใน RNA จะเป็นยูเรซิล แทนไทมีน แม้ว่า RNA จะมีโครงสร้างเป็นสายพอลินิวคลีโอไทด์เพียงสายเดียว แต่อาจมีการม้วนพับสายเข้าหากันและพันกันเองได้เป็นรูปเกลียว โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเบสอะดีนีนกับยูเรซิล และเบสกวานีนกับไซโทซีน ดังรูปที่ 7.21 การเข้าคู่กันของเบสใน RNA นี้บางครั้งทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นบ่วงเหมือนกิ๊บติดผม (hairpin loop) ดังรูปที่ 7.22



รูปที่ 7.21 การม้วนพับของสายพอลินิวคลีโอไทด์ใน RNA

(ที่มา : http://www.uic.edu/classes/phys/phys461/phys450/ANJUM04/, 1 พฤษภาคม 2556)



รูปที่ 7.22 โครงสร้างของ RNA ที่มีลักษณะเหมือนกิ๊บติดผม

(ที่มา : http://www-scf.usc.edu/~chem203/resources/DNA/rna_structure.html, 1 พฤษภาคม 2556)

7.8 สมบัติของกรดนิวคลีอิก

สมบัติของกรดนิวคลีอิกจะขึ้นอยู่กับสารที่เป็นองค์ประกอบได้แก่ ฟอสเฟต เบส และน้ำตาล รวมถึงโครงสร้างของกรดนิวคลีอิก

7.8.1 ความเป็นกรด

DNA แสดงสมบัติเป็นกรด เนื่องจากมีหมู่ฟอสเฟตเป็นจำนวนมากในโมเลกุล ซึ่งสามารถแตกตัวให้โปรตอนได้ ทำให้ DNA มีประจุลบจึงสามารถจับกับไอออนบวกของโลหะ เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} รวมถึงโปรตีนที่เป็นเบสและมีประจุบวก

7.8.2 การดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลต

เนื่องจากเบสเพียวรีนและไพริมิดีนในกรดนิวคลีอิกเป็นสารพวกอะโรมาติก จึงสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ดี โดยเฉพาะช่วงคลื่นแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet, UV) ความยาวคลื่นประมาณ 260 นาโนเมตร พลังจากแสงเหล่านี้สามารถทำลายเบสบางชนิดใน DNA โดยเฉพาะไทมีน ดังนั้นการได้รับแสงอัลตราไวโอเลตในปริมาณมากจึงเป็นอันตรายต่อเซลล์ เพราะอาจทำลายรหัสพันธุกรรมบางส่วนของเซลล์ได้ และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมของเซลล์นั้น เป็นผลให้เซลล์ผิดปกติหรืออาจเกิดการกลายพันธุ์ (mutation) ได้ (ศุภศิษฏ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์, 2552 : 134)

7.8.3 การเสียสภาพธรรมชาติ

การเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) คือ การที่สายพอลินิวคลีโอไทด์ทั้งสองสายเกลียวคู่ใน DNA แยกออกจากกัน โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายถูกทำลาย ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติ เช่น ความร้อน กรด ด่าง รังสีเอกซ์ และสารเคมีบางชนิด เช่น ยูเรีย เป็นต้น

หลังจากที่ DNA เกลียวคู่ถูกทำลายให้เสียสภาพธรรมชาติแล้ว ถ้าปรับสภาพแวดล้อมใหม่ให้เหมาะสม DNA สายเดี่ยวจะสามารถกลับมาเข้าคู่กันและประกอบเป็นเกลียวคู่ใหม่อีกครั้งได้ กระบวนการนี้เรียกว่า การกลับคืนสู่สภาพธรรมชาติ (renaturation or annealing process) เช่น ถ้าให้ DNA เกลียวคู่เสียสภาพธรรมชาติด้วยความร้อน และปล่อยให้อุณหภูมิค่อยๆ เย็นลง สายทั้งสองจะกลับมาเข้าคู่กันใหม่เป็น DNA เกลียวคู่ได้ (พัชรี บุญศิริ และคณะ, 2550 : 173)

เอกสารอ้างอิง

ดาวัลย์ ฉิมภู่. (2548). **ชีวเคมี**. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภศิษฏ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์. (2552). ชีวเคมีพื้นฐาน. กรุงเทพฯ : ท้อป.

พัชรี บุญศิริ เปรมใจ อารีจิตรานุสรณ์ อุบล ชาอ่อน และปีติ ธุวจิตต์. (2550). **ตำราชีวเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 5. ขอนแก่น : คลังนานาวิทยา.